

ANÁLISIS BÁSICO DEL REUSO DE LODOS RESIDUALES DE UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN SUELOS DE PRADERA DEL
PARQUE NACIONAL NEVADO DE TOLUCA

Eduardo Campos Medina¹
Norma García Rojas²
Alma Velásquez Rodríguez³
Magdalena García Fabila⁴

Resumen

El presente trabajo de investigación analizó la fertilidad edáfica de suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT), los cuales han sufrido cambio de uso de suelo, de ser forestales pasaron a ser de cultivo y por último pradera. Los resultados mostraron que la fertilidad de estos suelos es relativamente baja, debido a la pérdida de micronutrientes por la actividad antrópica que realiza el hombre en dicho parque. La propuesta de esta investigación es la reutilización de lodos residuales procedentes de una planta de tratamiento biológico, los cuales fueron pretratados alcalinamente con la finalidad de estabilizarlos, para posteriormente se analizarlos fisicoquímicamente con la finalidad de establecer que elementos aportarían a los suelos ya mencionados.

Palabras Clave: Lodos Residuales, Suelos de Pradera, Parque Nacional Nevado de Toluca

Abstract

The present research work, we discuss soil fertility Prairie soil the Nevado de Toluca National Park (NTNP), which have undergone change of use of soil, be forest became cultivation and finally Prairie. The results showed that these soils are relatively low, due to loss of micronutrient by human activity that does the man in the park. This proposal of this investigation is the from a biological treatment plant sludge reuse which were alkaline treatment in order to stabilize them, later these were physic-chemical analyze with the purpose of set items would bring to the above-mentioned soils,

Key Words: Sludge wastewater, National Park Nevado of Toluca, Prairie soils

¹ Profesor Investigador de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEM. Correo electrónico. eduardoccmx@gmail.com

² Alumna de la Licenciatura de Ciencias Ambientales de la Facultad de Planeación Urbana y Regional

³ Profesor Investigador de la Facultad de Ciencias de la UAEM.

⁴ Responsable del Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Química de la UAEM.

I. Introducción

Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales son producto de la concentración de sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios), o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de los sólidos disueltos de la aguas residuales (Morales, 2005). Estos lodos son compuestos orgánicos sólidos, semisólidos o líquidos producidos durante el proceso de tratamiento mecánico, biológico y/o químico de purificación de las aguas servidas (Marambio y Ortega, 2003: 20-23).

Como se menciono las plantas de tratamientos de aguas residuales los generan y los cuales contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes, metales pesados y agua (Cuevas *et. al.* 2006: 1-12). La Norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 los define como sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras o de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

Los tratamientos que utilizan las plantas de tratamiento pueden ser primarios (sin digestión), basado en procedimientos de separación física, secundarios (con digestión), que comprende procedimientos físicos y biológicos, en los cuales se reduce la presencia de patógenos y parásitos y el contenido de compuestos carbonados lábiles en los biosólidos, y terciarios, en los cuales se suman tratamientos químicos (Lavado *et. al.* 2002). La disposición final de estos biosólidos comúnmente es la incineración o relleno sanitario debido al alto costo de instalación de reactores estabilizadores de lodos y sistemas de deshidratación además de la transportación a los sitios de disposición final (Cardosa y Ramírez, 2002: 153-158).

El destino final de estas enormes masas de un residuo de difícil transporte y manejo en los vertederos (Davis, 1966: 65-69) ha constituido en un serio problema para muchos países, los cuales en la búsqueda de una solución a éste, han encontrado que aplicando estos lodos residuales al suelo se han obtenido beneficios tanto de tipo ambiental como económico debido a que estos lodos proporcionan material orgánico, mejoran la estructura del suelo, y ofrecen un gran potencial para el reciclaje de nutrientes.

La posibilidad de reutilizar materiales orgánicos ricos en nutrientes hace de la aplicación de lodos residuales en suelos agrícolas y forestales una alternativa importante (Salcedo *et. al.* 2007). Esta alta concentración de nutrientes que presentan estos residuos (Nitrógeno, Fósforo, Materia orgánica) puede ser aprovechada para el desarrollo primordial de las plantas (Valdéz *et al.*, 2008).

En México se han desarrollado investigaciones de la aplicación de lodos municipales, como factor de crecimiento de plantas de ornato (Vaca, *et. al.* 1993: 3-33) y follaje de maíz, alcanzando prometedores resultados. Y durante el desarrollo de estas investigaciones se ha buscado siempre acatar lo que estipula la norma oficial mexicana NOM-004- SEMARNAT-2002 en cuanto a los límites máximos permisibles de metales pesados y agentes patógena y parásita en lodos y biosólidos. (NOM-004- SEMARNAT-2002)

En los últimos años se han investigado varias opciones de reuso de aplicación de dichos lodos residuales, entre las cuales podemos citar:

a) *Relleno sanitario*.— Si bien durante la década de los años 80 el principal destino era el relleno sanitario, el aumento del volumen de producción generó la necesidad de dispersar los lodos en el ambiente, donde el suelo actúa como compartimiento final de esta disposición. Esto se realizó vía incineración o usándolos en la agricultura, resultando esta actividad una buena alternativa para países como Chile, en donde el tratamiento de aguas servidas aún no llega a su capacidad máxima, ni de producción de lodos como de los depósitos de estos. (Cuevas *et. al.* 2006: 1-12).

Barrios (2006), describe al relleno sanitario como la opción menos favorable ya que pueden co-disponerse con basura o ser mono-rellenos (solo lodos), requieren una adecuada planeación e ingeniería y pueden acelerar la descomposición de la basura (humedad, bacterias metanogénicas). Por tal motivo debe considerarse como la última ruta de manejo de lodos.

b) *Incineración*.— En este proceso la temperatura de los lodos es elevada por encima de los 800°C en un ambiente rico en oxígeno para conseguir la degradación de los compuestos orgánicos y obtener como producto final dióxido de carbono, agua y ceniza estable, lográndose una reducción del 90% del volumen total de los lodos alimentados.

c).— *Depósitos marinos*.— Esta última incluye el vertimiento de lodos en el mar, lo que a su vez trae consigo impactos negativos al mismo, entre los que destacan la disminución del O₂ disuelto en la columna de agua por mineralización de la materia orgánica, proceso de eutrofización debido a una sobre fertilización del sistema por el contenido de nutrientes, afectaciones a los corales y otras especies por la concentración de la fracción inerte, producción de olores desagradables y problemas estéticos, afectaciones por el contenido de metales pesados. La disposición en el mar fue prohibida en 1998, debido a la contaminación del ambiente marino (Reed. *et. al.* 2005: 298-304).

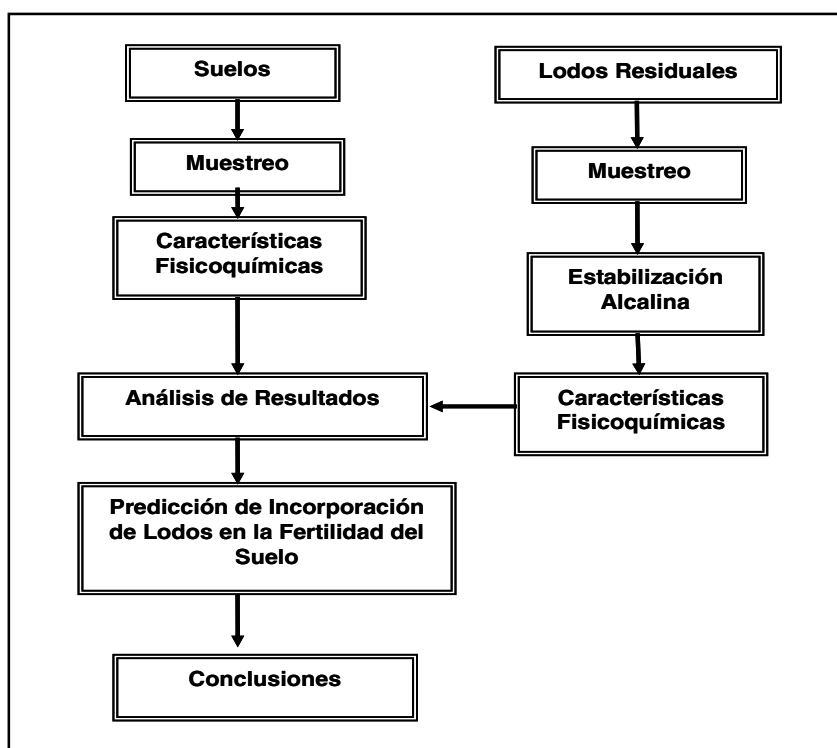
d).— *Agricultura*.— El reuso agrícola, dentro de criterios seguros, es una de las posibilidades de menor impacto ambiental y costos de operación. La utilización agrícola de los biosólidos contribuye, además de aportar nutrientes al suelo, a una agricultura autosustentable (Lavado *et. al.* 2002)

Como puede apreciarse los reusos pueden ser variados, de ahí que la propuesta de este artículo es la incorporación de los lodos residuales a suelos forestales, de manera específica en zonas del Parque Nacional Nevado de Toluca, el cual debido a las actividades antrópicas del hombre, sus suelos han sufrido cambio de uso, lo que repercute en una baja en la fertilidad de los mismos. Los lodos residuales utilizados en esta investigación son generados en una planta de tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de Toluca y de inicio se propone que con esta actividad se resuelvan dos problemáticas que son la generación de grandes volúmenes de lodos residuales y el incremento de la fertilidad de suelos forestales que han sufrido una disminución de sus nutrientes por la mano del hombre.

II. Metodología

La metodología que se siguió se puede apreciar en la Figura II.1

Figura II.1.–Metodología de la Investigación



Fuente: Propia de los Investigadores

II.1. Toma de Muestras de Suelos.– La primera etapa del muestreo de suelos de pradera del tipo andosoles ubicados en el Parque Nacional Nevado de Toluca, la cual correspondió a la selección de parcelas en las comunidades de Rosa Morada y Dilatada sur, pertenecientes al municipio de Almoloya de Juárez, y la comunidad del Capulín, en el municipio de Amanalco de Becerra, Estado de México. Se tomó una muestra compuesta de cada zona, a una profundidad de 0–20 cm, cada muestra pesó aproximadamente 15 Kg.

La obtención de muestras de suelos de pradera se realizó de acuerdo al método de zig-zag. Para las muestras de bosque se empleo el método descrito por Reyes-Reyes et al. (2003). Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico y trasladadas al laboratorio para la determinación de los parámetros fisicoquímicos señalados en la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Una vez trasladadas las muestras al laboratorio realizó un proceso de secado, para ello una cantidad considerable de cada muestra se colocó en charolas extendidas, facilitando también la eliminación de raíces e insectos que pudiera contener el suelo y posteriormente tamizar. Para lo cual se tomó una muestra de cada tipo de suelo, se homogeneizó y se pasó por un tamiz de 10 y 20 mm dejando lista la muestra para los respectivos análisis fisicoquímicos.

11.2. Características Fisicoquímicas del Suelo.—Para cada muestra se realizaron análisis fisicoquímicos para determinar las características de: pH, Materia Orgánica, Carbono Orgánico, Textura, Nitrógeno Total, Metales tales como Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Manganese (Mn), Hierro (Fe), Cadmio (Cd), capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio catiónico.

11.2.1.—Determinación del pH

Las mediciones para la determinación de pH se realizan por triplicado siguiendo la metodología AS-02 de NOM-021-SEMARNAT-2000, empleando un agitador mecánico a 1,500 rpm. La clasificación de las muestras se creó en base al criterio establecido por la norma mencionada.

11.2.2.—Determinación de Materia Orgánica y Carbono en el suelo

El procedimiento para la determinación de materia orgánica del suelo se realizó a través del método de Walkley y Black, contenido en la norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

11.2.3.—Determinación de la Textura del suelo

El método para la determinación de la textura del suelo se realizó a través del método de Bouyoucos, contenido en la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

11.2.4.— Determinación del Nitrógeno Total en el suelo

La determinación de Nitrógeno total en el suelo se realizó mediante el método Kjeldhal.

11.2.5.—Determinación de Metales Totales (Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Manganese (Mn), Hierro (Fe), Cadmio (Cd), Metales Lixiviados y Fósforo.

Para esta determinación se utilizó el método establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT- 2000, que establece la fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis.

11.2.6.-Determinación % Capacidad de Retención de Agua

Para esta determinación primero se pesó papel filtro No.42, se añadió 25g de muestra seca al aire, filtro y se registrando el peso. Se colocó en un embudo y adicionó 50ml de agua en descargas de 10ml cada 5 minutos, se cubrió con papel aluminio y se dejó reposar 16horas tras lo cual se pesó la muestra húmeda con el papel corrieron los blancos.

La fórmula utilizada para dicha determinación fue la siguiente:

$$CRA = \frac{(PMD - Ppfn - PM + (FH_2O \times Pm))}{Pm \times (1 - FH_2O)}$$

Donde:

PMD: peso de la muestra drenada

Ppfn: peso del blanco

Pm: peso de la muestra

FH₂O: humedad como fracción

11.2.7.-Capacidad de Intercambio Catiónico

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables se realizó a través del método AS-13 de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (muestras acidas y básicas) con Tiourea de Plata.

11.3. Toma de Muestra de Lodos Activados.- Los lodos activados (provenientes del tratamiento biológico) fueron proporcionados por la planta de tratamiento de aguas residuales RECICLAGUA S. A. de C. V., en un total de 6 muestras en una cantidad de 1 Kg, las cuales se colocaron en envases de 19 L, a temperatura ambiente, para ser transportadas al laboratorio.

11.3.1.-Estabilización Alcalina del Lodo Activado

Se realizó una mezcla del lodo con aproximadamente 360g de Ca(OH)₂, cantidad suficiente para alcanzar un pH con el valor de básico, y se dejó en reposo durante 24 horas, midiendo cada 10 minutos el pH durante una hora. Posteriormente, cuando el pH se estabilizó entre los valores de 12 y 13, los lodos se extendieron formando una capa delgada uniforme sobre una superficie plana para favorecer su desecación, una vez secos se guardaron en bolsas de plástico para sus posteriores análisis.

11.4. Características Físicoquímicas del Lodo Estabilizado.- Una vez seco el lodo estabilizado alcalinamente, se procedió a realizar la caracterización físicoquímica correspondiente, basándonos en la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002,

y realizando las mismas evaluaciones señaladas en la caracterización de los suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca.

II.5. Microscopia Electrónica de Barrido

Las muestras de lodos residuales sin estabilizar, los lodos estabilizados alcalinamente y suelos forestales se secaron con la finalidad de evaporar el agua que contenían, posteriormente se colocaron en un soporte de grafito el cual se introdujo en un Microscopio Electrónico Philips XL-30 a bajo vacío, esto con la finalidad de obtener las imágenes de las muestras mencionadas, así como el microanálisis correspondiente señalándonos los elementos que constituyen a dichos muestras.

III. Resultados

III.1. Características Fisicoquímicas del Suelo

III.1.1.-Determinación del pH

Los resultados de pH de los suelos de pradera de las tres localidades se muestran en la Tabla III.1.

Tabla III.1.1 Valores de pH de los Suelos de Pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca

Poblado	pH
Rosa Morada	6.01
Dilatada	5.45
El Capulín	5.62

Fuente: Propia de los autores

Como puede apreciarse los suelos de pradera de las tres localidades, son un tanto ácidos, debido al cambio de uso de suelo que han sufrido, primero suelo forestal, seguido de cultivo y por último de pradera, esto justificado a las actividades antrópicas que ha llevado a cabo el hombre a lo largo del tiempo.

III.1.2.-Determinación de Materia Orgánica y Carbono en el suelo

Los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio para los parámetros de Materia Orgánica y Carbono, para los suelos de pradera de las tres localidades se muestran en la Tabla III.2.

Tabla III.1.2 Valores de Materia Orgánica y Carbono para los suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca.

Descripción	% Materia Orgánica	% Carbono Orgánico
Rosa Morada	I.- 6.21	6.21
	II.- 6.99	
	III.-5.43	
Dilatada	I.- 4.6	4.3
	II.- 4.03	
	III.-4.49	
El Capulín	I.- 4.03	4.0
	II.- 4.03	
	III.-4.03	

Fuente: Propia de los autores

Como puede apreciarse los valores tanto de materia orgánica como de carbono son bastante bajos, esto se debe a la pérdida de la materia orgánica de dichos suelos por el cambio de uso de suelo, justificado por las actividades antrópicas del hombre.

III.1.3. Determinación de la Textura del suelo

Los resultados de Textura de los suelos de pradera de las tres localidades, se muestran en la Tabla III.3.

Tabla III.1.3 Valores de Textura de los suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca

Descripción	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
Rosa Morada	16	74	10	Franco Limoso
Dilatada	29.6	34	36.36	Franco Arcilloso
El Capulín	13	70	16	Franco Limoso

Fuente: Propia de los autores

Como puede observarse los valores de textura de los suelos de pradera, son muy específicos en cuanto a la clase textural, de estos resultados se puede justificar otros valores de otros parámetros a más adelante se mostrarán.

III.1.4.-Determinación del Nitrógeno Total en el suelo y Relación C/N

Los resultados de las tres localidades para el nitrógeno medido y la relación carbono – nitrógeno en los suelos de pradera, se muestran en la Tabla III.4.

Tabla III.1.4 Valores de Nitrógeno Total y Relación C/N

Descripción	% Nitrógeno Total	Relación C/N
Rosa Morada	0.3782	7.9
Dilatada	0.0553	47
El Capulín	0.0559	42.9

Fuente: Propia de los autores

Como puede apreciarse en las tres localidades los valores de nitrógeno son bastante bajas, de ahí que al momento de realizar la relación carbono-nitrógeno, los valores de este parámetro sean relativamente altos. Esto se debe a las actividades antrópicas del hombre en las cuales casi se ha agotado este elemento.

III.1.5.- Determinación de Metales Totales (Sodio (Na), Potasio (K), Calcio (Ca), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Manganeso (Mn), Fierro (Fe), Cadmio (Cd)) y Metales Lixiviados y Fósforo

Los resultados de estos elementos se pueden apreciar en la Tabla III.1.5, la cual señala las concentraciones de los mismos en suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca (PNNT).

Tabla III.1.5 Valores de los diferentes metales totales, metales del lixiviado y fósforo, presentes en suelos de pradera.

Tipo	Na (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (mg/g)	Fe (mg/g)	Cd (µg/g)
Rosa Morada	0.075	0.040	0.243	12.291	63.943	0.502	8.059	0.6135
Dilatada	0.157	0.277	0.453	8.052	73.467	0.344	9.000	0.603
El Capulín	0.074	0.544	0.233	15.685	60.607	0.210	8.847	No detectable
Tipo	P (mg/Kg)							
Rosa Morada	3.702							
Dilatada	2.621							
El Capulín	4.433							

Fuente: Propia de los autores

Los resultados mostrados tanto para los micronutrientes, calcio (Ca), potasio (K), sodio (Na), cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y fósforo (P), como los elementos tóxicos (plomo (Pb), cadmio (Cd)) son valores son bajos, ya que la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 señala los límites de estos elementos en las

unidades de mg Kg^{-1} , y las unidades presentadas en la Tabla III.1.5 están expresadas en mg g^{-1} , esto se puede justificar a los cambios de uso de suelo que han sufrido los mismos, pasando de forestal, a cultivo y finalmente pradera, debido a lo anterior obviamente los micronutrientes deben de disminuir en su concentración. En cuanto a los elementos tóxicos estos tampoco rebasan los límites establecidos en la norma oficial mexicana señalada.

III.1.6.–Determinación % Capacidad de Retención de Agua

Los resultados de la capacidad de retención de agua se presentan en la tabla III.6.

Tabla III.1.6 Valores de la % de capacidad de retención de agua de suelos de pradera

Poblado	Tipo	%CRA
Rosa Morada	Pradera	87.64
Dilatada	Pradera	151.79
El Capulín	Pradera	83.06

Fuente: Propia de los autores

Como puede observarse el valor de retención de agua es mucho mayor en la localidad de dilatada, esto se debe a este tipo de suelo de pradera contiene alto porcentaje de arcilla la cual tiene partículas submicroscópicas, las cuales tienen la capacidad de retener el agua y nutrientes, no así en las otras dos localidades Rosa Morada y El Capulín que su composición predomina el limo.

III.1.7.–Capacidad de Intercambio Catiónico

Los resultados de este parámetro se muestran en la Tabla III.1.7.

Tabla III.1.7 Valores de Intercambio de Catiónico de suelos de pradera del Parque Nacional Nevado de Toluca

Muestra	CIC (Cmol/ Kg)
Rosa Morada	11.15
Dilatada	10.34
El Capulín	10.12

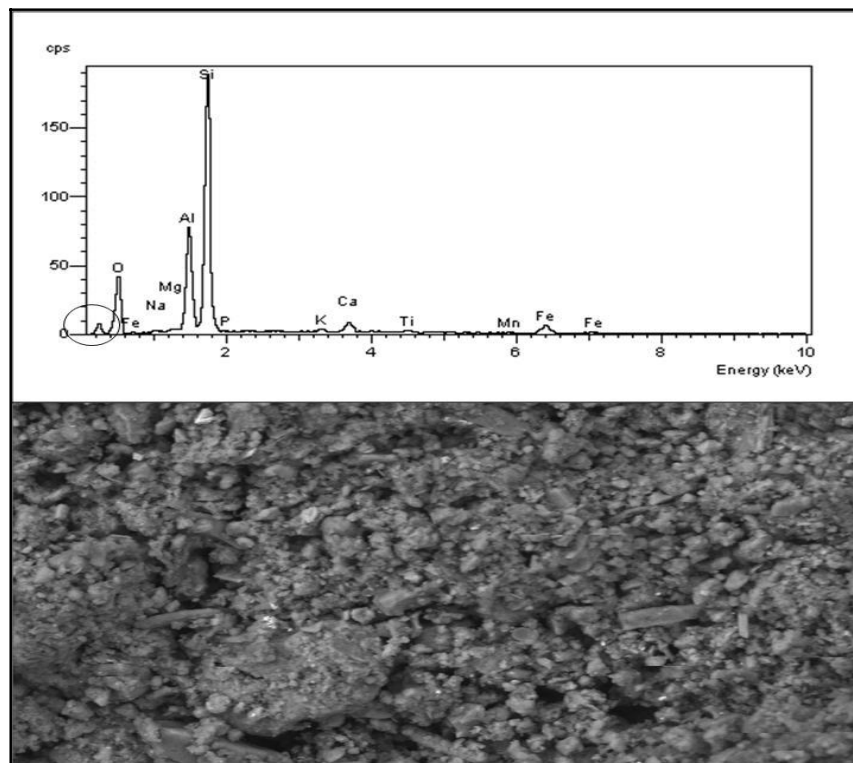
Fuente: Propia de los autores

Como puede observarse los valores están por debajo de los 25 CmolKg^{-1} , lo que indica que la reserva nutrimental de este tipo de suelos es baja, esto se establece en lo señalado en la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

III.1.8.–Microscopia Electrónica de Barrido de Suelos de Pradera

En la Figura III.1 se muestra la Microscopia de los suelos de pradera de la localidad Rosa Morada.

Figura III.1. Microscopia Electrónica de Barrido de suelos de pradera de la localidad de Rosa Morada.



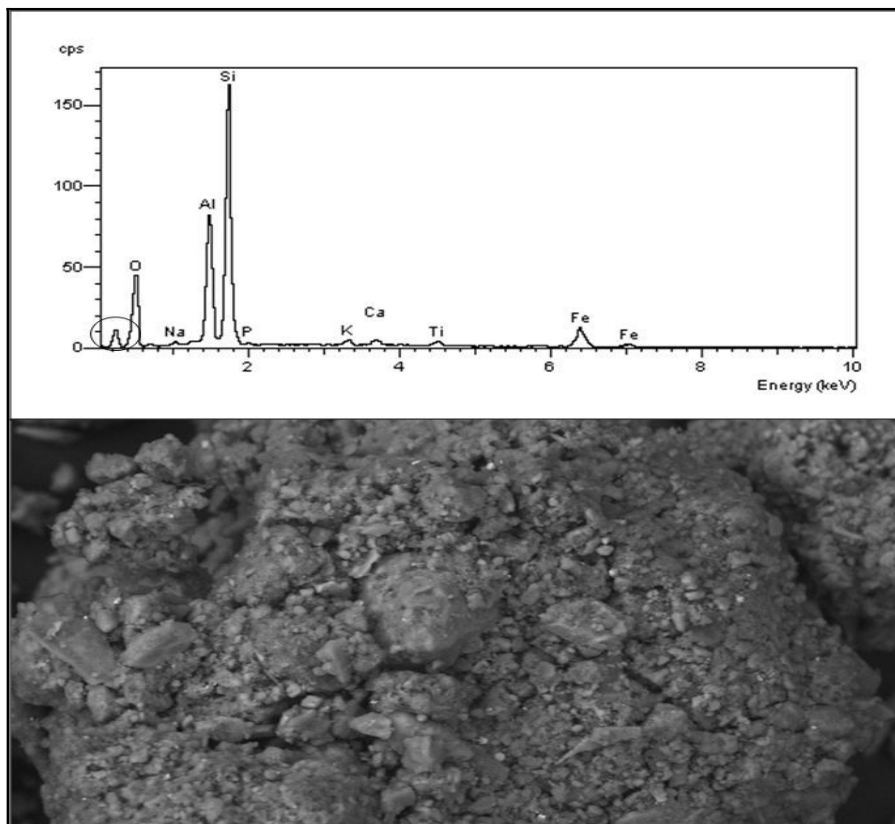
Fuente: Microscopio Electrónico Philips XL-30, 2009

Con respecto a los suelos de pradera se puede apreciar el pico referente al carbono presenta concentraciones muy bajas, por tal motivo la materia orgánica en este tipo de suelo también es baja.

Se detectaron los elementos de hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), Silicio (Si), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), titanio (Ti) y manganeso (Mn), se encuentran en muy bajas proporciones. Con respecto a la morfología, este tipo de suelo presenta agregados pequeños en forma irregular, estos agregados son ligeramente más pequeños que los presentes en los suelos forestales y de cultivo.

En la Figura III.2. Se muestra la Microscopia de los suelos de pradera de la localidad Dilatada.

Figura III.2. Microscopía Electrónica de Barrido de suelos de pradera de la localidad Dilatada.



Fuente: Microscopio Electrónico Philips XL-30, 2009

Se muestra de la misma forma que en la figura anterior, el pico representativo del carbono muestra estar en bajas proporciones por consiguiente la materia orgánica también se encuentra en la misma situación.

El hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), silicio (Si), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), titanio (Ti) y manganeso (Mn), se encuentran en muy bajas proporciones. A excepción del Al y el Si que al igual que en la figura anterior son detectados en concentraciones mayores.

En la morfología los agregados presentes en este tipo de suelo se aprecian con un tamaño mayor y una forma irregular. El comportamiento de las microscopias de los suelos de la localidad El Capulín en cuanto al carbono es casi igual a los mostrados en los suelos Rosa Morada y Dilatada, por consiguiente la presencia de la materia orgánica es baja también.

III.2. Lodos Residuales

III.2.1.–Características Fisicoquímicas

Los resultados obtenidos para los lodos estabilizados alcalinamente en los diferentes parámetros señalados previamente en la metodología, se muestran en las Tablas III.2.1. y III.2.2.

Tabla III.2.1. Valores de las Características Fisicoquímicas de Lodo estabilizado alcalinamente.

Parámetro	Valor
pH	9.77
% Materia Orgánica	31
% Carbono Orgánico	19
% Nitrógeno Total	1.06
Relación C/N	17.88
% Capacidad de Retención de Agua	43.7
% Capacidad de Intercambio Catiónico	58
Coliformes Fecales y Totales (NMP/g en base seca)	< 100

Fuente: Propia de los autores

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos que se muestran en la Tabla III.2.1, son en los rubros de % de materia orgánica, % carbono orgánico, % nitrógeno total, están por arriba de los mostrados en los suelos de pradera del PNNT, esto da pauta a establecer que la incorporación de los lodos a los suelos señalados es una buena opción por la transferencia de nutrientes de los lodos a los suelos.

De igual manera se puede justificar que la baja cantidad de coliformes fecales y totales que presentan los lodos residuales después de la estabilización alcalina, se debe al incremento de temperatura elimina a las coliformes señaladas.

Tabla III.2.2 Valores de los Metales y Lixiviados de los Lodos estabilizados alcalinamente.

Muestra	Na (mg/g)	K (mg/g)	Ca (mg/g)	Cu (µg/g)	Pb (µg/g)	Mn (mg/g)	Fe (mg/g)	Cd (mg/g)
Lodo Estabilizado	4.897	2.374	58.266	154.907	110.436	0.007	2.640	95.905
Muestra	P (mg/Kg)							
Lodo Estabilizado	5.032							

Fuente: Propia de los autores

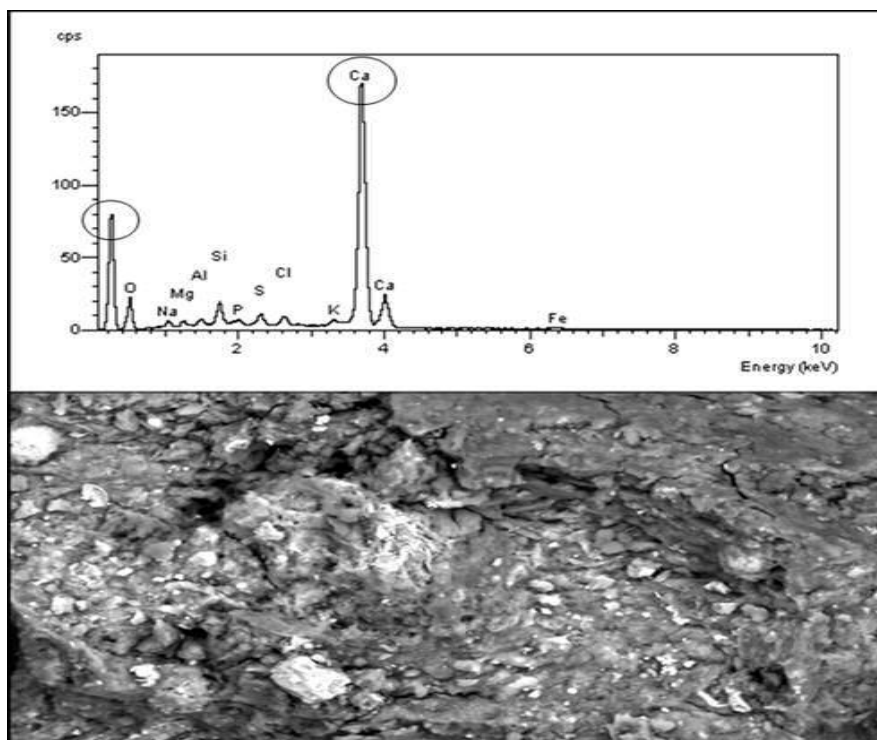
De igual manera se aprecia que los resultados en cuanto a los nutrientes, potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), hierro (Fe), cobre (Cu), manganeso (Mn) y fósforo (P) los valores están por encima de los resultados señalados en los suelos de pradera, por lo cual de igual manera se establece que la incorporación de nutrientes del lodo al suelo puede ser óptima.

En cuanto a los elementos de plomo (Pb) y cadmio (Cd), estos no rebasan las normas oficiales mexicanas NOM-021-SEMARNAT-2000 y NOM-004-SEMARNAT-2002, en las cuales se marca los límites permisibles para dichos elementos.

III.2.2. Microscopia Electrónica de Barrido de los Lodos residuales estabilizados alcalinamente.

Los resultados de la microscopia electrónica de barrido y el microanálisis se muestran en la Figura III.3.

Figura III.3.– Microscopia electrónica de barrido y Microanálisis de Lodos estabilizados alcalinamente



Fuente: Microscopio Electrónico Philips XL-30, 2009

En cuanto a los lodos estabilizados la microscopia mostró un contenido alto de carbono lo que resulta un contenido 1.7 más alto de materia orgánica, de manera similar se aprecia el elemento de calcio, el cual presenta un pico muy alto el cual es directamente

proporcional a su concentración, su presencia es debido a la estabilización alcalina que se realizó para dichos lodos, utilizando $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Asimismo se observan un contenido bajo de hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg), aluminio (Al), silicio (Si), fósforo (P), potasio (K) y manganeso (Mn).

Con respecto a la morfología, los agregados que presentan los lodos son pequeños y de forma irregular y las zonas más claras corresponden al calcio retenido de la estabilización alcalina realizada.

IV. Predicción de la Transferencia de Nutrientes al Suelo

En base a los resultados obtenidos en los diferentes parámetros se puede estimar que los suelos de pradera de las tres localidades del Parque Nacional Nevado de Toluca, tienen una disminución considerable en su fertilidad, esto se debe como se mencionó anteriormente a las actividades antrópicas que realizó el hombre. Debido a lo anterior si se plantea la incorporación de lodo residual estabilizado a dichos suelos se puede esperar que los efectos sean los siguientes:

- Dado que el lodo residual estabilizado presenta que posee alto contenido de carbono, se espera que la presencia de este elemento como de la materia orgánica se incremente en los suelos, esto traerá como consecuencia que aumente la formación de gránulos.
- Se espera que con el aumento de la materia orgánica se transfiera la energía potencial que posee los lodos a los suelos de pradera, y una parte de esta energía podría ser usada por los microorganismos que viven en dichos suelos.
- De igual manera el aumento de la materia orgánica provocará que la capacidad de intercambio catiónico aumente, con ello se retendrán los micronutrientes de manera más eficiente.
- Asimismo se espera que el contenido de nitrógeno aumente también, esto es importante ya que de utilizarse dichos suelos para sembrar una especie vegetal, este elemento es muy importante para su crecimiento.
- La cantidad de nitrógeno se ve favorecida ya que el lodo agregado aportará dicho incremento, esto como macronutriente en forma de combinaciones orgánicas, así como formando nitratos y nitritos.
- La incorporación señalada incrementará el contenido de micronutrientes de hierro, sodio, magnesio, calcio, potasio, cobre, manganeso y fósforo, los cuales son determinantes en el crecimiento alguna especie vegetal que se proponga cultivar en dichos suelos.

V. Conclusiones

La propuesta de investigación desarrollada en muestra que las actividades antrópicas que realiza el hombre en el PNNT, tienen efectos directos sobre el contenido de micro nutrientes en los suelos de dicho parque, de manera específica los de pradera.

La fertilidad edáfica de los suelos de pradera del PNNT es baja, esto se corrobora en las concentraciones de porcentaje de los rubros de materia orgánica, carbono orgánico, porcentaje de nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y las concentraciones de micronutrientes tales como hierro, sodio, magnesio, calcio, potasio, cobre, manganeso y fósforo.

La reutilización de los lodos residuales incorporados como mejoradores de la fertilidad de suelos es viable, esto se basa en los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a los mismos y al estudio teórico realizado de la transferencia de nutrientes de dichos lodos a los suelos ya mencionados.

Como recomendación se propone una investigación complementaria, que sería la incorporación de los lodos estabilizados a diferentes concentraciones de porcentaje a fin de establecer cual es la más idónea con la finalidad de no afectar de manera negativa a los suelos de pradera que se encuentran en el PNNT y de generar resultados positivos, plantear una alternativa de solución para la problemática de los altos volúmenes de generación de lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Agradecimientos

Este artículo es el resultado de una parte del proyecto de investigación de clave PROMEP/103.5/07/2572, con el rubro de apoyo de incorporación de nuevo PTC.

Bibliografía

- Cardosa Vigueros, Ramírez Camperos. (2002). Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for México. *Water Sci Technol.* Vol. (46).
- Cuevas B. José, Oscar Seguel S., Achim Ellies Sch., José Dörner F. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *R.C.Suelo Nutr. Veg.* 6 (2) 2006 (1–12) *J. Soil Sc. Plant. Nutr.* 6 (2).
- Davis, R.D. (1996). The impact of EU and UK Environmental Pressures on the Future of Sludge Treatment and Disposal. *Water Environ. Manage* 10.
- Lavado Raúl S., Miguel A. Taboada (2002). Factibilidad de valorización agrícola de biosólidos de plantas depuradoras. Manual de procedimientos para la aplicación en el campo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

- Marambio, C. Y Ortega, R. (2003). Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. Revista Agronomía y Forestal UC 20.
- Morales Rojo Paola Mariel (2005). Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Química con área en Ingeniería Ambiental. Universidad de las Américas Puebla.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Protección ambiental. Lodos y Biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Viernes 15 de agosto de 2003.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Martes 31 de Diciembre del 2002
- **Reed G. P., N. P. Paterson, Y. Zhuo, D. R. Dugwell and R. Kandiyoti (2005) “Trace Element Distribution in Sewage Sludge Gasification: Source and Temperature Effects” *Energy & Fuels*. 19.**
- Salcedo-Pérez Eduardo, Antonio Vázquez-Alarcón, Lakshmy Krishnamurthy, Francisco Zamora-Natera, Efrén Hernández-Álvarez, Ramón Rodríguez Macías (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. INCI v.32 n.2 Caracas feb. 2007.
- Vaca, P. R., Quinto, C. L., García, V. E., Morquecho, C. A. Lugo. (1993) **“Determinación de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en Zea mays y suelo enmendado con lodos residuales”**. Fac. de Ciencias, UAEM. Toluca México.
- Valdéz Pérez M. A., Ramos Valdivia A. C., Franco Hernández M. O., Flores Cotera L. B., Dendooven L. (2008). Biosólidos estabilizados y vermicomposta de biosólidos como fuente de nitrógeno en cultivos de frijol.